

C₆₀ 分子瞬态全光开关

国风云 王端波 杨 昆 李淳飞

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150006)

提 要

本文以 YAG 脉冲激光为控制光, He-Ne 连续激光为信号光, 在 C₆₀ 甲苯溶液中首次实现瞬态全光开关. 由光开关时间推断出 C₆₀ 分子三重态的寿命.

关键词 C₆₀, 全光开关.

1 引 言

自 1990 年 Krätschmer 和 Huffman 给出简易和大量制备 C₆₀ 的方法以来^[1], 很多实验室竞相开展了 C₆₀ 的物理、化学性质的研究^[2]. 有关 C₆₀ 电子能级结构和激发态物理特性的研究表明^[3~5], 由于单重态第一激发态与最低三重态间有很小的能量差, 通过无辐射跃迁, 光激发到单重态第一激发态的布居以大于 96% 的转移效率转移到具有较长寿命的三重态最低激发态上, 且在一个很宽的光谱范围内, 三重态-三重态吸收截面大于基态吸收截面. 基于 C₆₀ 分子能级结构的特点, 本文首次报道了在 C₆₀ 甲苯溶液中, 采用调 Q Nd: YAG 激光器输出的 532.0 nm 光为控制光(泵浦光), He-Ne 激光器输出的 632.8 nm 光为信号光(探测光), 利用 C₆₀ 分子的三重态-三重态非线性吸收来实现瞬态全光开关.

2 实 验

实验中使用调 Q 倍频 Nd: YAG 激光器输出的 532.0 nm 为控制光(泵浦光), 激光脉冲宽度 15 ns, 单个脉冲能量可达 10 mJ. 使用连续 He-Ne 激光器输出的 632.8 nm 光为信号光(探测光), 输出功率控制在几毫瓦, 以避免样品因长时间照射产生大的热效应. 实验光路如图 1 所示. 两束光经会聚透镜 L₁ 共线聚焦到样品池中, 样品浓度 $C = 2.19 \times 10^{-3} \text{ M}$, 样品池厚度为 0.5 cm. 透过样品池的光束由透镜 L₂ 全部收集到单色仪狭

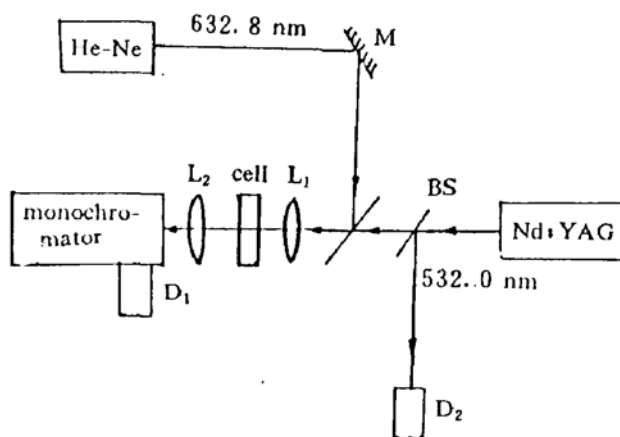


Fig. 1 Experimental set-up for all-optical switching

缝中,经色散后由光电倍增管 D₁ 接收.分束器 BS 分出小部分控制光,由光电倍增管 D₂ 接收. D₁、D₂ 接收的电信号同时送入 500 MHz 存贮示波器(其中 D₂ 做外触发源),便可瞬态记录下信号光光强的变化.

3 结果及讨论

从 C₆₀ 甲苯溶液的基态吸收光谱和三重态-三重态吸收光谱^[5]可以看出,对选定的信号光波长(632.8 nm),基态有较小的吸收截面,而激发态(三重态-三重态)有相对较大的吸收截面.因此,当采用短脉冲、高强度的 532.0 nm 控制光泵浦样品时,由于 C₆₀ 分子快的系间串越($\tau_{ST} < 1.2$ ns)和高的三重态量子产率($\Phi_{ST} \approx 96\%$)及长的三重态寿命($\tau_T = 40 \sim 300$ μ s),将会看到信号光光强要经历一个从高透射状态到低透射状态的

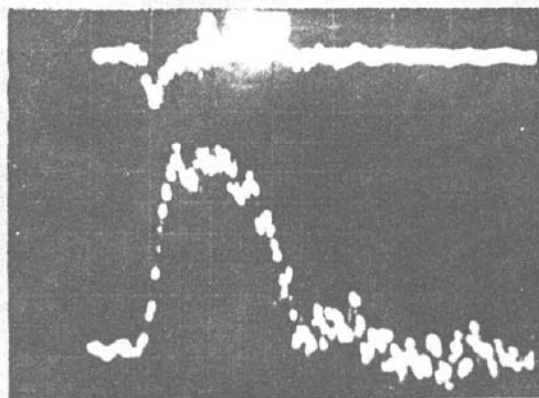


Fig. 2 Photograph of the transient all-optical switching (pumping power: 10^7 W/cm²; tim scale: 100 ns/div)

瞬时开关过程.实验证实了这一点,图 2 是典型的实验结果,它显示了光开关时间发展过程.为了便于分析,也同时记录了控制光泵浦样品时的脉冲波形.从图中看到,光开关上升时间($t_r < 15$ ns)短于控制光脉宽,它的开启相对控制光泵浦样品时刻没有延迟,说明 C₆₀ 分子单重态寿命应在纳秒量级.这与 Tanigaki 等^[5]利用皮秒和纳秒闪光光解技术测得 C₆₀ 在甲苯溶液中的单重态寿命为 1.2 ns 相一致.

此瞬态全光开关从开启到关闭时间约为 250 ns. 作者认为该开关时间应与 C₆₀ 分子处于三重态的寿命相同. 本实验所用样品未经去气处理,由于空气中³O₂对 C₆₀分子三重态有淬灭作用,会使得 C₆₀分子三重态寿命大大减小. Granbowski 等^[3]用时间分辨的脉冲激光光声量热法(time-resolved, pulse-laser photo-acoustic calorimetry)测得 C₆₀分子三重态寿命在空气饱和甲苯溶液中为(290 ± 40 ns). 这与本文观测到的开关时间相吻合.

实验中看到,当强控制光(532.0 nm)作用于样品时,C₆₀甲苯溶液产生局部流动,造成透过样品的信号光波前畸变.为排除此效应对实验结果可能造成的影响,应特别注意将透过样品的信号光全部收集于控制器中.此外,为进一步证实此瞬态全光开关行为确由 C₆₀分子激发态的非线性吸收产生而非其它效应引起,将样品换成若丹明 B,若丹明 6G 等染料溶液(对 532.0 nm 光有较强吸收),其它实验条件不变,重复上述实验过程,均未观测到有瞬态光开关现象.

实验发现,当控制光泵浦功率密度低于 10^7 W/cm² 时,光开关的高低态对比不明显,但开关时间不变.说明此时 C₆₀分子处于三重态最低激发态上的布居数较少.基于 C₆₀分子三重态-三重态非线性吸收产生的这种瞬态全光开关,它的高低态对比度与样品的浓度及控制光作用于样品的时间、功率密度的关系有待深入研究,该工作正在进之中.

参 考 文 献

- [1] W. Krätschmer, L. O. Lamb, K. Fostiropoulos *et al.*, Solid C_{60} : a new form of carbon. *Nature*, 1990, 47 (6291): 354~357
- [2] H. W. Kroto, A. W. Allaf, S. P. Balm, C_{60} : Buckminsterfullerene. *Chem. Phys. Rev.*, 1991, 91(6): 1213~1235
- [3] R. R. Hung, J. J. Grabowski, A precise determination of the triplet energy of C_{60} by photoacoustic calorimetry. *J. Phys. Chem.*, 1991, 95: 6073~6075
- [4] J. W. Arbogast, A. P. Darmanyan, C. S. Foote *et al.*, Photophysical properties of C_{60} . *J. Phys. Chem.*, 1991, 95: 11~12
- [5] T. W. Ebbesen, K. Tanigaki, S. Kuroshima, Excited-state properties of C_{60} . *Chem. Phys. Lett.*, 181(6): 501~504

Transient all-optical switching in C_{60} molecules

GUO Fengyun WANG Ruibo YANG Kun LI Chunfei

(Department of Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006)

(Received 3 March 1993; revised 12 April 1993)

Abstract

We have firstly demonstrated the transient all-optical switching for C_{60} in toluene pumped by a control light and probed by a signal light. The lifetime of C_{60} (3T_1) can be deduced from the switching time.

Key words C_{60} , all-optical switching.